

Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava

Fakulta metalurgie a materiálového inženýrství

Katedra metalurgie a slévárenství

Studijní program: **Metalurgické inženýrství**

Studijní obor: **Umělecké slévárenství**

ORIGAMI

Bakalářská práce

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Nikol Novohradská, Ph.D.

Jiří Rygel

Akademický rok: 2017/2018

Zadání bakalářské práce

Student: **Jiří Rygel**
Studijní program: B2109 Metalurgické inženýrství
Studijní obor: 2109R031 Umělecké slévárenství
Téma: Origami
Origami
Jazyk vypracování: čeština

Zásady pro vypracování:

1. Cíl práce
2. Teoretická část
3. Návrh odlitku
4. Výroba modelu, formy a odlitku, konečná úprava odlitku
5. Závěr

Seznam doporučené odborné literatury:

- [1] ENGEL, P. *Origami from Angelfish to Zen*. New York: Dover Publication, 1994, 256 p. ISBN 0-486-28138-8.
- [2] JELÍNEK, P. *Slévárenství*. Ostrava: VŠB - TUO, 2007, 255 s. ISBN 978-80-248-1282-3.
- [3] KOČMAN, J. *Médium papír*. Brno: VUTUM, 2011, 87 s. ISBN 978-80-214-4342-6.


Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.


Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Nikol Novohradská, Ph.D.**

Konzultant bakalářské práce: MgA. Alžběta Dirnerová

Datum zadání: 30.11.2017

Datum odevzdání: 30.04.2018


prof. Ing. Karel Michalek, CSc.
vedoucí katedry


prof. Ing. Jana Dobrovská, CSc.
děkanka fakulty

Zásady pro vypracování bakalářské práce

I.

Bakalářskou prací (dále jen BP) se ověřují vědomosti a dovednosti, které student získal během studia, a jeho schopnosti využívat je při řešení teoretických i praktických problémů.

II.

Uspořádání bakalářské práce:

- | | |
|--|------------------------------|
| 1. Titulní list | 6. Obsah BP |
| 2. Originál zadání BP | 7. Textová část BP |
| 3. Zásady pro vypracování BP | 8. Seznam použité literatury |
| 4. Prohlášení + místopřísežné prohlášení | 9. Přílohy |
| 5. Abstrakt + klíčová slova česky a anglicky | |

ad 1) Titulní list je koncipován podle požadavků příslušné oborové katedry.

ad 2) Originál zadání BP obdrží student na oborové katedře.

ad 3) Tyto „Zásady pro vypracování bakalářské práce“ následují za originálem zadání BP. („Zásady pro vypracování bakalářské práce“ jsou ke stažení na webových stránkách fakulty).

ad 4) Prohlášení + místopřísežné prohlášení napsané na zvláštním listu (ke stažení na webových stránkách fakulty) a vlastnoručně podepsané studentem s uvedením data odevzdání BP. V případě, že BP vychází ze spolupráce s jinými právníckými a fyzickými osobami a obsahuje citlivé údaje, je na zvláštním listě vloženo prohlášení spolupracující právnické nebo fyzické osoby o souhlasu se zveřejněním BP.

ad 5) Abstrakt a klíčová slova jsou uvedena na zvláštním listu česky a anglicky v rozsahu max. 1 strany pro obě jazykové verze.

ad 6) Obsah BP se uvádí na zvláštním listu. Zahrnuje názvy všech číslovaných kapitol, podkapitol a statí textové části BP, odkaz na seznam příloh a seznam použité literatury, s uvedením příslušné stránky. Předpokládá se desetinné číslování.

ad 7) Textová část BP obvykle zahrnuje:

- Úvod, obsahující charakteristiku řešeného problému a cíle jeho řešení v souladu se zadáním BP;
- Vlastní rozpracování BP (včetně obrázků, tabulek, výpočtů) s dílčími závěry, vhodně členěné do kapitol a podkapitol podle povahy problému;
- Závěr, obsahující celkové hodnocení výsledků BP z hlediska stanoveného zadání.

BP bude zpracována v rozsahu min. 25 stran (včetně obsahu a seznamu použité literatury).

Text musí být napsán vhodným textovým editorem počítače po jedné straně bílého nelesklého papíru formátu A4 při respektování následující **doporučené** úpravy - písmo Times New Roman 12b; řádkování 1,5; okraje – horní, dolní – 2,5 cm, levý – 3 cm, pravý 2 cm. Fotografie, schémata, obrázky, tabulky musí být očíslovány a musí na ně být v textu poukázáno. Budou zařazeny průběžně v textu, pouze je-li to nezbytně nutné, jako přílohy (viz ad 9).

ZASADY.DOC

Odborná terminologie práce musí odpovídat platným normám. Všechny výpočty musí být přehledně uspořádány tak, aby každý odborník byl schopen přezkoušet jejich správnost. Matematické vzorce musí být číslovány (v kulatých závorkách). U vzorců, údajů a hodnot převzatých z odborné literatury nebo z praxe musí být uveden jejich pramen - u literatury citován číselným odkazem (v hranatých závorkách) na seznam použité literatury. Nedostatky ve způsobu vyjadřování, nedostatky gramatické, neopravené chyby v textu mohou snížit klasifikaci práce.

ad 8) BP bude obsahovat alespoň 10 literárních odkazů, z toho nejméně 3 v některém ze světových jazyků.

Seznam použité literatury se píše na zvláštním listě. **Citaci literatury je nutno uvádět důsledně v souladu s ČSN ISO 690.** Na práce uvedené v seznamu použité literatury musí být uveden odkaz v textu BP.

ad 9) Přílohy budou obsahovat jen ty části (speciální výpočty, zdrojové texty programů aj.), které nelze vhodně včlenit do vlastní textové části, např. z důvodu ztráty srozumitelnosti.

III.

Bakalářskou práci student odevzdá ve dvou knihařsky svázaných vyhotoveních, pokud katedra garantující studijní obor neurčí jiný počet. Vnější desky budou označeny takto:

nahoře: *Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava*
Fakulta metalurgie a materiálového inženýrství
Katedra

uprostřed: *BAKALÁŘSKÁ PRÁCE*

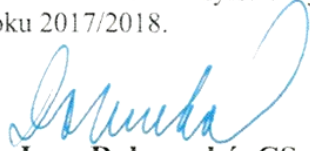
dole: *Rok* *Jméno a příjmení*

Kromě těchto dvou knihařsky svázaných výtisků odevzdá student kompletní práci také v elektronické formě do IS EDISON. Práce vložená v elektronické formě do IS EDISON se musí zcela shodovat s prací odevzdanou v tištěné formě. Po vložení BP do IS EDISON bude provedena její kontrola na plagiátorství.

IV.

Nesplnění výše uvedených zásad pro vypracování bakalářské práce může být důvodem nepřijetí práce k obhajobě. O nepřijetí práce k obhajobě rozhoduje v tomto případě garant příslušného studijního oboru. Tyto zásady jsou závazné pro studenty všech studijních programů a forem bakalářského studia fakulty metalurgie a materiálového inženýrství Vysoké školy báňské – Technické univerzity Ostrava od akademického roku 2017/2018.

Ostrava 13. 11. 2017


Prof. Ing. Jana Dobrovská, CSc.
děkanka fakulty metalurgie a materiálového inženýrství
VŠB-TU Ostrava

ZASADY DOC

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že

- jsem byl(a) seznámen(a) s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. - autorský zákon, zejména §35 - užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního (§60 - školní dílo);
- беру на ве́домі́, že Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB - TUO) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě bakalářskou práci užít (§35 odst. 3);
- souhlasím s tím, že bakalářská práce bude archivována v elektronické formě v databázi Ústřední knihovny VŠB - TUO a jeden výtisk bude uložen u vedoucího bakalářské práce. Souhlasím s tím, že údaje o bakalářské práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO;
- bylo sjednáno, že s VŠB - TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu §12 odst. 4 autorského zákona;
- bylo sjednáno, že užít své dílo - bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB - TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB - TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše);
- беру на ве́домі́, že odevzdáním své bakalářské práce souhlasím s jejím zveřejněním podle zákona č. 111/1998Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (Zákon o vysokých školách) bez ohledu na výsledek její obhajoby.

Místopřísežně prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci vypracoval(a) samostatně.

V Ostravě ... 29.4.2018 ...

..... Jiří Rygel
podpis (jméno a příjmení studenta)

Tímto bych rád poděkoval vedoucí své bakalářské práce Ing. Nikol Novohradské, Ph.D. a konzultantce MgA. Alžbětě Dirnerové za spolupráci, cenné rady a připomínky k mé práci. Dále bych chtěl poděkovat Bc.Vaškovi Mertovi za vstřícnou výpomoc a předání cenných zkušeností. Také bych rád poděkoval Ing. Xenii Ševčíkové, Ph.D. za rady týkající se povrchové úpravy a výpomocí s jejími realizacemi. Rád bych, také poděkoval rodině za podporu při studiu na vysoké škole.

RYGEL, J.: Origami. *Bakalářská práce*. FMMI, Katedra metalurgie a slévárenství, VŠB TU Ostrava 2018

ABSTRAKT

Tato bakalářská práce se zabývá výrobou bronzového odlitku pomocí papírového modelu origami metodou přesného lití.

Teoretická část bakalářské práce se zabývá historií výroby papíru, skládání papíru se zaměřením na japonské umění origami. Dále je zde popsána metoda přesného lití.

Experimentální část popisuje výrobu papírového modelu origami, jeho následnou povrchovou úpravu, formování do sádrové formy, postup vyžihání formy, odlévání a závěrečné úpravy odlitku.

Výsledkem práce je návod na zhotovení tenkostěnných odlitků origami metodou přesného lití.

Klíčová slova: origami; papírový model; sádrová forma; tenkostěnný odlitek; přesné lití; bronz;

ABSTRACT

This dissertation focuses on the creation of bronze casts with the aid of a paper origami piece using a method of precision casting.

The theoretical section of this dissertation concerns the history of creating paper and folding paper with a focus on the Japanese art of origami. Further one may find the method described for precision casting.

The experimental section describes the creation process of the origami model, the further surface treatment, formation into a plastered form, the method of annealing, casting and final adjustments of the cast.

The result of this dissertation is a guide to completing thin-walled casts with a method of precision casting.

Key words: origami; paper model; plaster mould; thin wall cast; precision casting; bronze;

OBSAH

ÚVOD.....	9
1 TEORETICKÁ ČÁST	10
1.1 Výroba papíru.....	10
1.2 Origami	12
1.2.1 Kult jeřába	13
1.2.2 Využití origami v jiných oborech.....	15
1.3 Přesné lití.....	17
2 PRAKTICKÁ ČÁST.....	19
2.1 Výroba modelu.....	19
2.2 Výroba formy	23
2.3 Odlévání	25
2.4 Povrchová úprava.....	28
3 ZÁVĚR	32
SEZNAM OBRÁZKŮ	34
POUŽITÁ LITERATURA.....	36

ÚVOD

Tématem své bakalářské práce jsem si vybral origami, protože se zabývám jeho stavěním, líbí se mi jeho jemnost a preciznost, kterou bych chtěl také převést do odlitku z bronzu. Bronz díky své dobré zabíhavosti dokáže vykreslit jemné detaily a odlít i velmi složité tvary.

V teoretické části bakalářské práce se budu věnovat historii vývoje papíru, technologickému postupu při jeho výrobě a jeho standardizací. Dále se také budu věnovat historii origami, kultem jeřába a pomníkem obětí Hirošimy a Nagasaki, který ve svém poselství nese tento symbol origami. V této práci bych se také rád zmínil o využití principů skládání papíru v oblastech vědy. Také bych zde rád zmínil o metodě přesného lití, kterou jsem zvolil pro výsledný odlitek.

V experimentální části bakalářské práce se budu zabírat stavbou papírových modelů origami a jejich povrchovou a technologickou úpravou, které umožní následné formování. Budu sledovat vliv použití vakua během formování do sádry na výslednou kvalitu odlitku. Zabíhavost kovu podpořím přetlakovou metodou odlévání do předehráté sádrové formy.

Cílem této práce je vytvoření odlitku technologií přesného lití za pomoci vypálitelného modelu z papíru, zaformována do sádry a odlití za pomoci vakuové indukční pece Indutherm MC 15, za účelem dosažení shodného odlitku s minimální potřebou dokončovacích prací.

1 TEORETICKÁ ČÁST

Teoretická část bakalářské práce se zabývá historií výroby papíru, skládání papíru se zaměřením na japonské umění origami. Na závěr je zde popsána metoda přesného lití použitá pro výrobu odlitku.

1.1 Výroba papíru

Předchůdcem papíru byl kámen, do kterého se tesaly historické události, ale také texty každodenního života tehdejších lidí. Varianta tesání textu do kamene byla příliš složitá, a tak se hledala jiná a jednodušší varianta, která by byla dostupná z běžných surovin. V Mezopotámii se jako materiál pro psaní používaly hliněné destičky. Tyto destičky jsou vytvořeny z jílu smíchaného s vodou, po zaschnutí se do nich vyrývaly text. V Indii pro psaní využívaly dřevěných destiček a v pozdějších dobách dřevo nahradily tenké kovové destičky, do kterých text tepaly. Nejstarší dochované nálezy jsou z Číny a jsou psané na želvím krunýři. V Malé Asii se psalo na vyčištěné, vyčištěné a křídované kůže z hospodářských zvířat. Tyto kůže byly nataženy do dřevěného rámu nebo ve formě svitků bez napnutí. Jeho používání se rozšířilo ve čtvrtém století i do Říma a stala se jednou z hlavních metod ve Střední Evropě. Jedna z nejznámějších prvopočátků papíru je papyrus, který vznikl 3 tisíce let před naším letopočtem v Egyptě a v roce 300 před naším letopočtem se papyrus rozšířil do celého středomoří. [1,2]

Papír tak jak ho dnes známe, pochází z Číny. Domnívané prvopočátky výroby papíru v Číně se datují okolo 3 tisíce let před naším letopočtem, tento papír byl vytvořen z konopí. První doložená metoda výroby papíru v Číně je až okolo 1. století našeho letopočtu uvádí se, že je to okolo roku 105. Vynálezcem této metody byl Čínský úředníky Zai Lun. Ke své metodě využíval odřezky bambusů, vláken a různých typů rostlin, které byly vhodné pro výrobu papíru. Všechny tyto suroviny se rozvařily a rozmělnily na kaši. Do této směsi se přidala také tkanina pro zpevnění. Do této uvařené kaše se ponořila bambusová síť, na které ulpěna jemná vrstva. Tato vrstva na síti se dala sušit. Po sušení se vrstva sloupne ze síta a proces se opakuje. [1,2]

Číňané si dobře uvědomovali význam tohoto objevu, a tak ho pečlivě střežili před okolním světem. Udržet si tajemství výroby papíru se jim ale povedlo jen do poloviny 8. století, kdy se z důvodu válek toto tajemství vyradilo. Tento postup výroby získali Arabové, kteří roku 793, začali s výrobou papíru. Z muslimského světa se už čínské tajemství výroby

rychle rozšířilo po celé Evropě. První papírna v Evropě vznikla ve Španělsku. Princip výroby papíru je stejný dodnes. [1,2]

Čínská tradice výroby papíru se do Japonska dostala až v 8. století našeho letopočtu. Klasický čínský papír sloužil převážně pro psaní a byl hrubší než papír, který se využívá na origami. Těchto papíru využívali pro výzdobu chrámů a posvátných míst. Pro Japonsko má papír daleko větší význam než jen jako věc, na kterou se píše. Papír mají spojený se spirituálními obřady a slouží jako médium pro přání a modlitby. V samurajském období Japonska se papír často využíval k balení darů, což byly také prvopočátky skládání papíru. Typ balení se dělil na několik druhů podle příležitosti, ročního období a podle zprávy nesoucí dar. [2]

Oproti Čínským počátkům výroby papíru po jednotlivých arších, si dnes díky moderním strojům můžeme papír vyrábět v rolích a mnohem rychleji. Současný papír je hladší, bělejší a může mít mnoho dalších vlastností podle určení použití. Papír se vyrábí z drobně rozsekaného dřeva, které se vaří v kotlích s roztokem sodného louhu, sodného louhu se siričikem nebo roztoku kyselého siřičitanu vápenatého a kyseliny siřičité. Tím se rozpustí směs tříslovin, barvi, pryskyřic, ligninu a podobně. Zbývající vlákna buničiny se vymývají, aby se zbavili nechtěných částí jako je například písek a jiné nečistoty. Následně se rozmělní a smíchají se s plnivem, které papír upraví pro tisk, dají mu bílou barvu a zároveň papír zlevní. Tyto plniva ale zároveň papíru snižují pevnost. Směs se promíchá v míchací nádrži a vznikne takzvané papírovina, tato papírovina dále putuje na papírenský stroj, který ji nanese v tenkých vrstvách na kovové síto. Sítový dopravník zajišťuje souvislou výrobu papíru bez nutného přerušení, vytváří se tím tak nekonečně dlouhý papír bez přerušení. Toto síto se během cesty strásá, aby se papírovina ztenčila. Síto dále putuje přes ždímačku, která sníží podíl vody obsažený v papírovině. Následně pás projíždí sérií lisů, které papír ztenčují a díky vyhřívání válců také suší. Válce jsou vyhřívány zevnitř horkou parou. Před koncem sušení se papír hladí na žehlicím stroji pomocí válců, které se otáčejí různou rychlostí. Hotový papír se ořeže na určené formáty nebo se natáčí do rolí. [1,2,3]

Nám důvěrně známý formát papíru A0 – A10 jsou v historii papíru poměrně novinkou. Tento systém do výroby papíru zavedli až v roce 1929 v Německu. Návrh sjednotit rozměry podal Německý institut pro normativ (DIN). Škála začíná formátem A0 (840 mm x 1189 mm), každá další velikost je polovina té předešlé. Nejznámější a nejpoužívanější je formát A4 (210 mm x 297 mm). Myšlenka se ujala a zvolené formáty se používají dodnes v celém světě kromě USA a Kanady.[4]

1.2 Origami

Historie skládání papíru původně pochází z Číny z období prvního a druhého století. Toto umění skládání papíru přichází v šestnáctém století do Japonska, a zde se stává novou formou umění, které se říká ORIGAMI. Dnes je origami bráno, jako tradiční japonské umění. Jedná se v podstatě o vytváření předmětů, ohýbáním papíru. Název origami tomu, také odpovídá. V Japonském překladu znamená slovo „ORI“ ohnout a slovo „GAMI“ papír. Klasické origami je skládáno z jednoho kusu papíru, čtvercového tvaru, bez použití lepidla nebo stříhání. [5,6]

Na počátku 19. století se stalo stavění origami oficiální součástí výuky ve školkách a na základních školách. Touto technikou skládání z papíru se zabývají všechny věkové skupiny, díky mnoha úrovním náročnosti. Origami je využíváno v mnoha odvětvích japonské kultury. Můžeme jej nalézt ve zdobení domů ale také i jako součást náboženských rituálů. [6]

Ve 20. století japonský umělec Yoshizawa, zabývající stavbou origami, vytvořil desítky tisíc nových objektů, které lze touto technikou poskládat. Zároveň vymyslel způsob, jak tyto nově vymyšlené objekty překreslit na papír a vytvořil tím návody, jak při skládání origami postupovat. Jedná se o soubor šipek, přerušovaných čar a značek, které přesně určují jednotlivé kroky. Dalo by se říct, že tak vznikl nový, univerzální jazyk pro tvůrce origami. [10]

Zatím co historické origami vznikalo z vynalézavosti a zručnosti lidí, novodobé origami se vyznačuje větší detailností modelů. Této detailnosti se podařilo dosáhnout díky novým technologiím a matematickým výpočtům, které se spojily s dosud známými postupy skládání papíru. [5,6,7]

1.2.1 Kult jeřába



Obr.1 Fotografie reálného Jeřába[8]



Obr. 2 Origami Jeřáb

Jeden z hlavních představitelů origami je jeřáb (obrázek 1 a 2.). Jeřáb je v historii Japonska velmi ceněným zvířetem. Díky mnoha pověstem si vytvořil statut zvířete, které přináší štěstí, spokojenost a blahobyt. Jedna z těchto pověstí říká, že pokud poskládáte tisíc papírových modelů jeřába (obrázek 3 a 4.), tak si můžete přát jedno přání. Mnoho japonských obyvatel v tuto magickou pověst stále věří.



Obr. 3 Provozy z jeřábů [10]



Obr. 4 Tisíc papírových jeřábů [11]

Motiv jeřába byl použit na památník obětí atomové bomby v Hirošimě a Nagasaki. Tento památník je věnován dětským obětem bombardování. Na jeho vrcholu je stojící dívka držící nad hlavou velkého jeřába z origami, jak ukazuje obrázek 5 a 6. Ženská postava byla inspirována Japonskou dívkou Sadako Sasako, která zažila ve svých dvou letech atomové bombardování. Sadako toto bombardování přežila, jenže v jejích jedenácti letech se následky ozáření radiací projevily a byla u ní zjištěna leukemie. V nemocnici se dozvěděla starou legendu, že když postaví tisíc jeřábů tak se jí splní přání a vyléčí se. Sadako tedy neváhala a začala stavět. V počtu 990 kusů, bohužel umřela, zbývalo pouhých deset do přání, které by jí

mohlo zachránit život. Sadako Sasako se stala symbolem důsledků používání jaderných zbraní při druhé světové válce. Pomník byl odhalen roku 1958 na čestném místě v Parku Míru v Hirošimě. [12]



Obr. 5 Detail sochy Sadako Sasako držící jeřába [12]



Obr. 6 Památník obětí [13]

Každým rokem se na den výročí obětí objevují okolo památníku tisíce poskládaných jeřábů z celého světa, jako vyjádření smutku, soustrasti s oběťmi a také jako přání míru a štěstí do budoucna. Na obrázcích 14 a 15 můžete vidět kolik se těchto jeřábů v okolí památníku objevuje. [12]



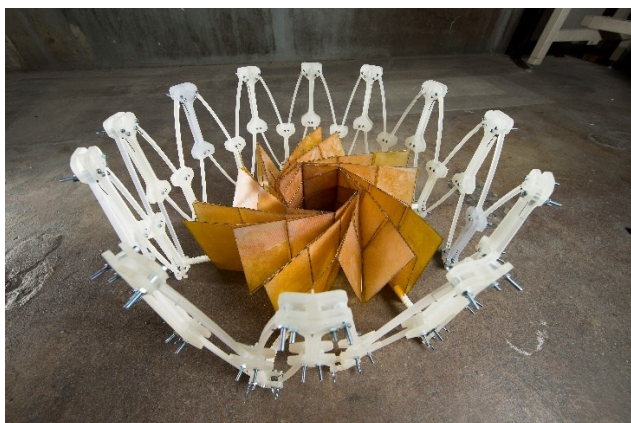
Obr. 7 Pomník obětí s tisíci kusy jeřábů, pohled 1 [14]



Obr. 8 Pamník obětí s tisíci kusy jeřábů, pohled 2 [15]

1.2.2 Využití origami v jiných oborech

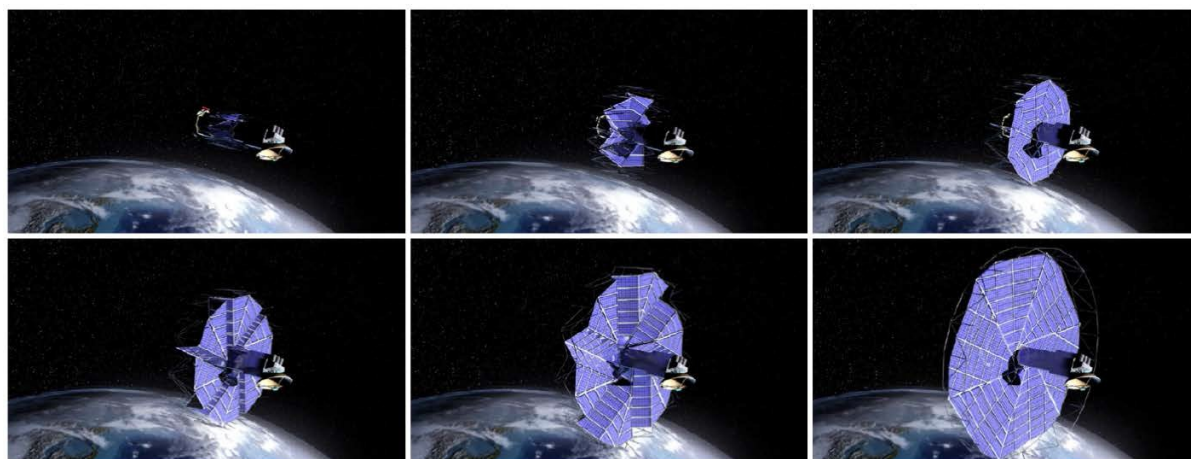
Principy skládání papíru se využívá také v mnoha technologických odvětvích. Jedním z největších příkladů je využití pro vesmírné mise, při kterých je potřeba co nejefektivněji využívat prostor v raketoplánu. Tato technologie skládání papíru byla využita společností NASA pro složení několika set metrové solární plachty, tak aby se dala snadno přepřavit na orbitu a tam bez poškození roztáhnout. Zmenšený model této solární plachty můžete vidět na obrázcích 9 a 10. Na obrázku 11 naleznete vizualizaci tohoto projektu ve vesmíru. [16,17]



Obr. 9 Model složené solární plachty [17]

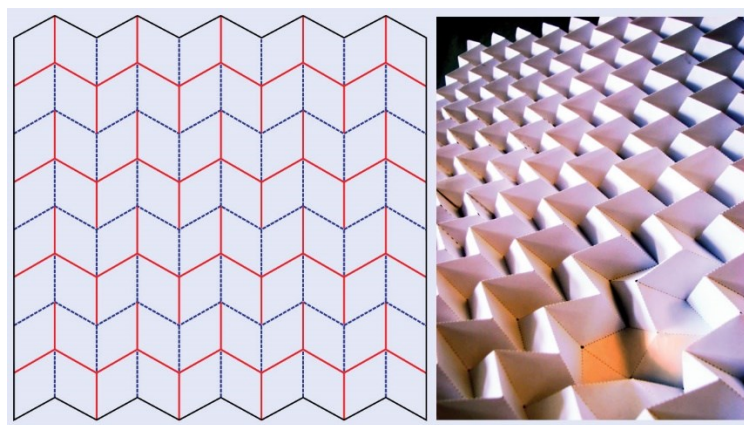


Obr. 10 Model roztažené solární plachty [17]



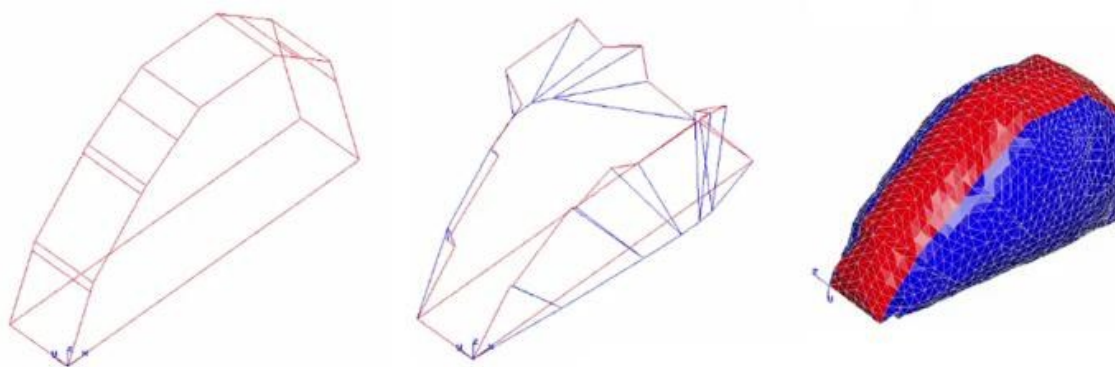
Obr. 11 Vizualizace otevření solární plachty ve vesmíru [18]

První místo kde bylo ve vesmíru origami použito, bylo na japonském teleskopu, roku 1995. Tento princip skládání, byl navrhnout japonským astrofyzikem Koryo Miura. Jeho návrh můžete vidět na obrázku 12. Tento princip umožňuje jednoduché rozložení a složení čtvercové plocha zároveň je při složení tento objekt velmi kompaktní. [18,19]



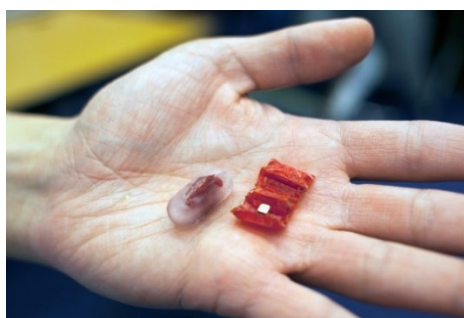
Obr. 12 Princip skládání dle Koryo Miura [20]

Vesmír ale není jediné místo, kde můžeme najít použité principy skládání papíru. Můžeme ho nalézt, také v automobilovém průmyslu ve formě airbagu, které jsou do doby nutnosti pečlivě poskládány tak, aby se dokázaly z co největší efektivity rozbalit. Na obrázku 13 je zobrazena počítačová simulace ukazující nafukování složeného airbagu. [16]



Obr. 13 Počítačová simulace nafukování složeného airbagu [21]

Origami můžeme nalézt také v medicíně, kde bylo použito na stavbu mikroskopického robota (viz obr. 14), který umožňuje doktorům dopravit lék uvnitř člověka do míst, kde potřebují, a tak cíleně zaměřit účinnost léku na požadované místo. [22]



Obr. 14 Mikroskopický robot [22]

S origami se střetáváme v běžném životě na každém kroku, i když si to možná ani neuvědomujeme. I složení mapy, které můžete vidět na obrázku 15, bylo vymyšleno japonským umělcem zabývajícím se stavbou origami. [16]



Obr. 15 Princip skládání mapy [23]

1.3 Přesné lití

Přesné lití se využívá ke zhotovení odlitků, které jsou tvarově složité nebo příliš tenkostěnné na to, aby bylo technicky možné je odlévat klasickými metodami. Výhodou této metody je odlévání tvarově složitých odlitků bez nutnosti povrchové úpravy. [24]

Jednou z metod přesného lití je použití jednorázového modelu. Tento model je netrvalý a dělí se na vytavitelný, spalitelný nebo vypařitelný. U těchto způsobů se využívá vysokých teplot k odstranění modelu z formy. Tento model se musí odstranit beze zbytku. [24,25]

V případě metody vytavitelného modelu se jedná o různé typy vosků, které jsou roztaveny vstříknuty do formy pro vytvoření modelu. Při použití této metody vytavitelného modelu v praxi se pro větší kusovost odlitku využívá upevňování modelů do takzvaného stromečku, jak můžete vidět na obrázku 16 [24]



Obr. 16 Voskové modely v tzv. stromečku [26]

Stromeček je sestava modelů okolo jednoho licího kůlu. Použití stromečku, se využívá při odlévání menších odlitků. Pro takto připravené modely, se využívá formování do keramické skořepinové formy. Tato keramická skořepinová forma vzniká namáčením voskového modelu do tekuté keramické směsi, která v tenké vrstvě ulpí na povrchu modelu. Toto namáčení se několikrát opakuje, tím se vrstva pokrývající model násobí až do požadované tloušťky. Poté se model i se skořepinou vloží do pece, ve které dojde k vypálení keramické směsi a vytavení voskového modelu po kterém vznikne dutina pro roztavený kov. Po odlití se keramická skořepinová forma rozbije. [24,25]

U metody spalitelného modelu se jedná o materiály jako například papír, látka, dřevo a podobně. Tyto modely se využívají pro formování do sádry, díky její dobré zabíhavosti a schopnosti vykreslovat i nejmenší detaily. Této metodě formování lze také dopomoci vakuem nebo stříháním, které napomáhá k lepšímu odplynění formy a zamezit vzniku nechtěných bublin na povrchu odlitku. Použitím vakua také zlepšíme zabíhavost sádry. Po zaformování do sádry se forma vkládá do pece, ve které za působení tepla dojde ke zhutnění sádrové formy, vyschnutí formy a k vypálení modelu. Tímto vypálením modelu dojde k vytvoření dutiny, do které se vlije kov a vytvoří finální odlitek. Lití může probíhat způsobem gravitačním, sklopným, přetlakovým nebo odstředivým. [25,27]

Cílem těchto metod je vytvoření odlitku, který se po odlití nemusí upravovat a tím se snižují náklady na jeho výrobu a také čas. Jedinou úpravou po odlití je odstranění vtokového kůlu a začištění kontaktní plochy s kůlem. Díky absenci jader je vhodný na tvarově složité odlitky. [24,25]

2 PRAKTICKÁ ČÁST

Tato část popisuje výrobu papírového modelu origami, jeho následnou povrchovou úpravu, formování do sádrové formy, postup vyžihání formy, odlévání a závěrečné úpravy finálního odlitku.

2.1 Výroba modelu

V této práci jsem použil pět různých modelů origami – myši, lišky, jednorožce, žáby a jeřába. Klasické origami vychází z papíru čtvercového tvaru o velikosti 30 x 30 cm. Model jsem přizpůsobil velikostí formovacího rámu takzvané kyvety, tím pádem se u každého modelu velikost výchozího papíru liší k dosažení požadované konečné velikosti. Gramáž papíru pro stavbu klasického origami se pohybuje v rozmezí mezi 70 – 75 g/m². Abych docílil větší tloušťky stěn, tak jsem použil klasický kancelářský papír o gramáži 80 g/m². Modely jsem opatřil vtokovou soustavu z vosku.



Obr. 17 Papírový model origami - myš

Pro výrobu modelu myši jsem použil papír o velikosti 15 cm x 15 cm a gramáži 80 g/m². Výsledný papírový model má rozměry 2,5 cm x 5 cm x 5,5 cm.



Obr. 18 Papírový model origami - liška

Model lišky vychází ze stejné velikosti i gramáže papíru, jako to bylo v případě modelu myši a výsledný model má rozměry 2,5 cm x 7 cm x 3 cm.

U tohoto modelu byla potřeba použít lepidlo pro spojení několika vrstev poskládaného papíru. Bez tohoto slepení model nedržel kompaktní tvar, ve kterém by bylo možno ho zaformovat a odlít (viz obrázek 19).



Obr. 19 Neslepený papírový model lišky

Model jednorožce vychází ze stejného formátu i gramáže papíru jako to bylo u předešlých modelů myši a lišky. Výsledné rozměry z tohoto formátu jsou 3 cm x 6,5 cm x 7,5 cm.



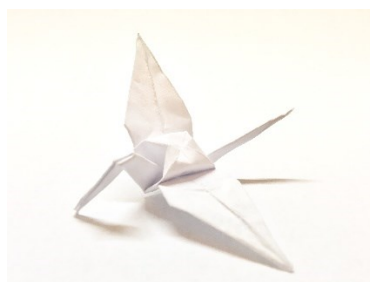
Obr. 20 Papírový model origami – jednorožec

Model žáby vychází z papíru o rozměrech 10,5 cm x 10,5 cm o gramáži 80 g/m². rozměry výsledného modelu jsou 5 cm x 3,5 cm x 1,5 cm.



Obr. 21 Papírový model origami – žába

Poslední model jeřába je jeden z nejznámějších zástupců klasického origami, takže by byla škoda ho tady nezařadit. Díky svým tenkostěnným křídům je to, ale také nejtěžší model na odlévání. Vychází z papíru o formátu 7,5 cm x 7,5 cm a ve výsledném stavu má rozměry 7,5 cm x 6 cm x 1,5 cm



Obr. 22 Papírový model origami – jeřáb

Zkoušel jsem několik druh povrchové úpravy. Každá z těchto úprav měla za cíl snížení savosti papíru při formování do sádry.

První z variant byla nanášení včelího vosku rozpuštěného v benzínu na povrch papírového modelu. Při lepení vtokového kůlu z vosku, docházelo ke špatnému přilnutí k modelu, což může způsobit vady v průběhu formování modelu.

Druhou zkoušenou variantou byl šelakový nátěr skládající se ze šelaku rozpuštěného v lihu. Díky nátěru povrch model ztuhnul a byl vhodnější pro další manipulaci při formování. Tento nátěr jsem poté zkoušel nanášet ve více vrstvách, tak aby byl model dostatečně tuhý, měl co nejméně vnitřních dutin a zároveň aby se neztrácela jemnost vrstev papíru. Snahou bylo tyto vnitřní dutiny vyplnit šelakovým nátěrem natolik, aby při formování nedocházelo k rozdělení jednotlivých vrstev papíru sádrou. Ve snaze zabránit vzniku vnitřních dutin se změnil způsob aplikace šelakového nátěru.

Z důvodu lepší aplikace šelakového nátěru do štětcem nepřístupných míst, jsem zvolil metodu namáčení. Testované modely jsem rozdělil podle vrstev nátěrů na modely s jedním až čtyřmi nátěry. Zde se objevily vady kvůli nedostatečně dlouhé době sušení mezi jednotlivými vrstvami. Vady vznikaly nanášením následné vrstvy nátěru na vrstvu, která z vnějšího pohledu působila, že je suchá ale v dutinách modelu stále nebyla doschlá. Tímto novým nátěrem se tato předchozí nedoschlá vrstva uzavřela a líh obsažený v šelakovém nátěru se nemohl odpařit. Při následném formování za použití vakua, se toto projevilo ve formě bublin na povrchu modelu. Následně jsem prodloužil dobu sušení mezi jednotlivými vrstvami šelakového nátěru. Sušení jsem prováděl při vyšší pokojové teplotě (25 °C). Tento tip sušení přinesl uspokojivý povrch modelu bez bublinek šelaku a bez vzniku vnitřních nezaschlých vrstev.

Nakonec se jako nejlepší ukázala povrchová úprava, kdy jsem papírový model opatřil dvěma vrstvami šelakového nátěru, metodou namáčení. Sušení jsem zvolil při zvýšené pokojové teplotě (25 °C) s dobou sušení 24 h mezi jednotlivými vrstvami.

U některých modelů bylo potřeba zvětšit hmotu tenkostěnných částí, vlitím roztaveného vosku do vnitřních dutin, kde byl model příliš tenký. Tyto změny modelu můžete vidět na obrázcích 23 a 24.



Obr. 23 Dutina před zalitím



Obr. 24 Dutina po zalití

Také příliš tenké vnější části modelu, které by mohly způsobit problém při zabíhání taveniny, jsem ošetřil zesílením vrstvy pomocí zalití dutin voskem. Úpravy provedené na modelu jednorožce můžete vidět na obrázcích 25 a 26.



Obr. 25 Dutiny před zalitím



Obr. 26 Dutiny po zalití

2.2 Výroba formy

Model opatřený vtokovým kulem se vsadí do kloboučku formy. Klobouček je gumová násada na formu, která se nasazuje na kovovou kyvetu a tím uzavírá z jedné strany formu. Zároveň také tvoří svým tvarem vtokovou jamku budoucí sádrové formy. Po důkladném přilepení vtokového kule s modelem ke kloboučku se nasadí kyveta, která tvoří rám formy. Pro formování jsem zvolil kyvetu o průměru a výšce 80 milimetrů. Je to zároveň největší velikost, která lze vložit do vakuové indukční pece MC 15, která bude použita pro odlévání. Na obrázcích můžete vidět názornou ukázkou kyvety a kyvetu připravenou na formování s vloženým modelem (obrázek 27 a 28).



Obr. 27 Kyveta



Obr. 28 Kyveta s modelem

Takto připravený rám s modelem vložíme do vakuové lící komory INDU - MIX, což je přístroj umožňující míchání sádry ve vakuu a odstranění bublin vznikajících v sádře při míchání s vodou. Sádrovou směs jsem připravil v poměru 500 g sádry a 190 g vody, což je také dávka do této kyvety. Tento přístroj také umožňuje liti připravené sádry ve vakuu s možností vibrací za zvýšení zabíhavosti sádry. Díky vakuu se sádra dostane i do těžce přístupných míst a vyplní mezery, které jsou jinak vyplněny vzduchem. Po odlití jsem zjistil, že vakuum až příliš napomáhá zaběhnutí sádry do vrstev papírového modelu a tím narušuje kompaktnost spojených vrstev papíru. Kvůli tomuto dochází k oddělení jednotlivých papírových vrstev a přílišnému ztenčení tloušťky stěn modelu. Při dalším pokusu výroby formy, jsem zkoušel variantu míchání sádry za použití vakua a odlévání při atmosférickém tlaku, abych zabránil přílišnému vnikání sádry do dutin modelu. Tato varianta měla pozitivní výsledek s dobrým povrchem po zalití. Nevýhodou této varianty jsou bublinky vzduchu na povrchu modelu, kterým se nepodařilo uniknout ze sádrové formy.

U pokusů s použitím modelů s povrchovou úpravou včelím voskem docházelo při formování k uvolnění modelu od vtokového kůlu a vyplouvání na hladinu sádry a znehodnocení forem. K tomuto docházelo z důvodu špatné přilnavosti vtokového kůlu na povrch modelu ošetřeného povrchovou úpravou se včelím voskem.

Při variantě povrchové úpravy s čtyřmi a více vrstvami nátěru šelaku bez dostatečné doby proschnutí docházelo ke vzlínání nezaschlých vrstev na povrch modelu a tím vzniku vad na konečném odlitku. Tyto vady jsou také vidno na obrázku 29 detailu povrchu myši.

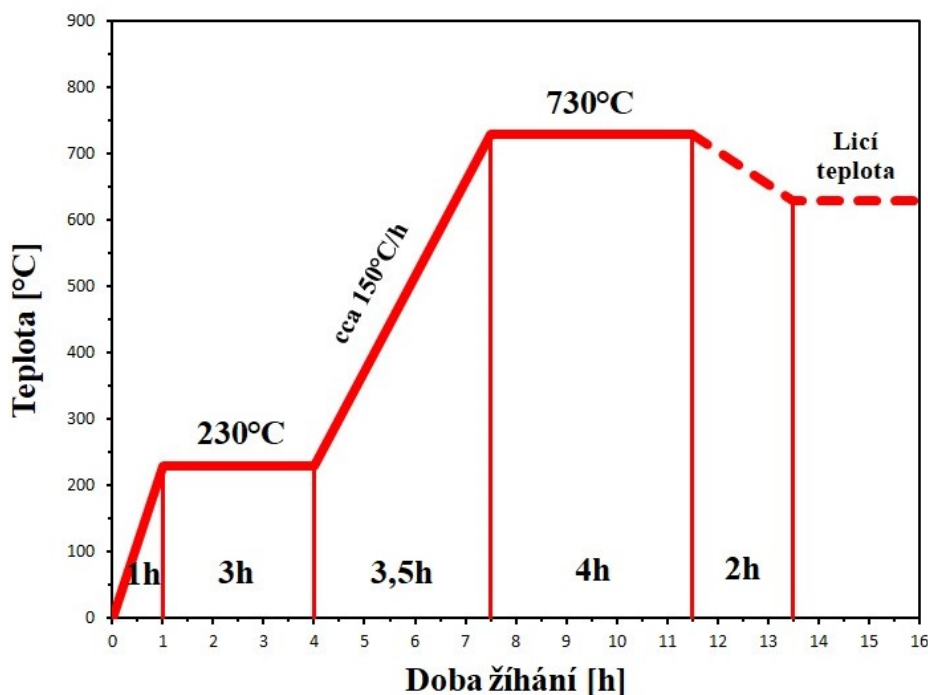


Obr. 29 Vady při vzlínání šelakového nátěru

2.3 Odlévání

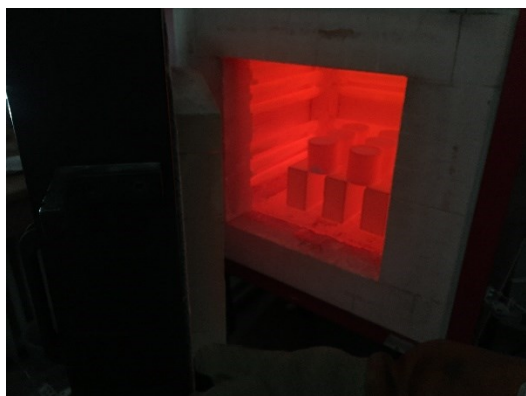
Ztuhlá sádrová forma se zbaví gumového kloboučku, který do teď sloužil jako jednostranná ucpávka kyvety, model vtokové jamky a jako držák modelu. Takto upravenou formu vložíme do elektrické odporové žíhací pece, která se nastaví, aby pomalu formu vysušila. Teplota v peci vzrůstá z pokojové teploty na hodnotu 230 °C za 1 hodiny a poté zůstává na této teplotě 3 hodiny. Této fázi se říká sušení. Při špatně zvolené teplotě, či příliš rychlém stoupání teploty dojde k popraskání formy z důvodu příliš rychlého uvolnění volně vázané vody v sádrové formě. Po sušení následuje žíhací fáze, při které teplota stoupne za 3,5 hodiny na teplotu 730 °C a na této teplotě setrvává po 4 hodiny. Během žíhání dojde ke shoření papírového modelu i ochranného nátěru modelu a vzniku volné dutiny pro pozdější odlití kovu. Během žíhání se vytaví i voskový váleček, který do té doby sloužil jako prostředek k uchycení modelu. Po rozpuštění vosku bude tento vzniklý prostor sloužit jako vtokový kůl pro lití.

V závěru cyklu pec přechází do udržovací teploty, která je 800 °C. Tento cyklus je také názorně zobrazen na následujícím obrázku 30.



Obr. 30 Křivka žhání forem

Po žhání má forma právě těchto 800 °C. Na obrázku 31 můžete vidět rozžhavené formy v peci na konci ukončení tohoto cyklu. Při vytahování ze žhací pece se forma kleštěmi opatrně přenesse do vakuové indukční pece Induterm MC 15, kterou můžete vidět na obrázku 32.



Obr. 31 Formy v žhací peci



Obr. 32 Vložená forma v peci pro lití

Do této pece se před vložením vyžháné formy, vloží odvážená vsázka do kelímku. Následně se do pece vloží forma a vsázkou, poté se pec hermeticky uzavře. Pro svou bakalářskou práci jsem zvolil jako vsázku desíti procentní cínový bronz CuSn₁₀. Cínový bronz jsem si vybral z důvodu dobrých slévárenských vlastností, vyhovujících pro tenkostěnné odlity.

Po tomto uzavření nastává tavení vsázky při podtlaku (-0,9 bar) při 80 % výkonu. Když je vsázka natavená, tak se rotační hlava pece překlopí a při působení přetlaku (2 bar) se roztavený kov odlíje do dutiny formy. Přetlak způsobí, natlačení tekutého kovu do tenkostěnných prostor formy s lepší účinností než by tomu bylo v případě působení běžného atmosférického tlaku. Při odlití na kov také působí gravitační síla. V následující fázi probíhá tuhnutí po dobu 300 s. Poté se pec vrátí do původní polohy a otevře se těsnící poklop pece. Odlitá forma s modelem uvnitř se kleštěmi opatrně vyjme z pece a šokově se zchladí ve vodě. Toto šokové zchlazení zapříčiní rozpad sádrové formy a zchlazení odlitku na teplotu vhodnou pro manipulaci.

Při kontrole odlitku jsem zpozoroval výskyt staženin v odlitcích. Ty vznikly z důvodu vysoké teploty formy a vysokého přehřátí nataveného kovu. Po tomto zjištění jsem snížil konečnou teplotu formy z původní teploty 800 °C na teplotu 500 °C. Tato teplota byla, ale příliš malá a při odlévání, roztavený kov nezaběhl do všech částí a tím vytvořil neshodný odlitek. Po tomto zjištění jsem teplotu formy zvedl na 550 °C, tato teplota byla také nedostatečná pro dostatečné zalití formy. Proto jsem tuto teplotu zvedl na 600 °C, tato teplota byla již dostačující a tavenina uspokojivě zaběhla do celého rozsahu formy. Touto změnou teploty předešlé formy jsem také docílil uspokojivého povrchu odlitku.

Tato teplota, ale nebyla vhodná pro všechny odlévané modely. U některých odlitků docházelo k přepálení povrchu odlitku. Proto jsem ještě zkrátil dobu před litím (po natavení vsázky) a tím i teplotu taveniny. V případě modelů myši, lišky a žáby, byla zvolená doba lití 5 sekund po natavení vsázky a 10 sekund u modelu jeřába a jednorožce, u kterých vznikala nezatečena místa v oblastech, kde je model příliš tenkostěnný, jak můžete vidět na obrázcích 33 a 34. Tudíž jsem teplotu taveniny musel kvůli lepší zabíhavosti zvednout.



Obr. 33 Jeřáb, problém se zabíhavostí



Obr. 34 Jednorožec, problém se zabíhavostí

U modelů s povrchovou úpravou včelím voskem došlo při formování k rozkládání a roztahování papírového modelu, jak můžete vidět na obrázcích 35, 36 a 37.



Obr. 35 Odlitek 1. pohled



Obr. 36 Odlitek 2. pohled



Obr. 37 Odlitek 3. pohled

K tomuto roztahování papírového modelu docházelo i v případě šelakového nátěru, který nebyl dostatečně proschlý. Stávalo se to převážně v kombinaci s neslepovaným modelem.

Při odlévání vznikaly drobné díry v místech, kde byl model příliš tenkostěnný. Těmto chybám jsem se pokusil předejít úpravou modelu. Místa, kde docházelo ke vzniku vad, jsem opatřil vrstvou vosku již při úpravě papírového modelu, abych zvětšil vrstvu materiálu a tím zabránil vzniku nezaběhlých míst. Tento postup při odlití fungoval a odstranily se tím tak vznikající díry v zádové části modelu myši, dutině uvnitř žáby a na příliš tenkých nohách jednorožce.

2.4 Povrchová úprava

Po odlití jsem kartáčem, odlitek zbavil přebytečné sádry na povrchu. S touto povrchovou vrstvou se zároveň odstranila připečená vrstva sádry, přiléhající k odlitku. Po tomto procesu jsem odlitek vložil do ultrazvukové čističky. Ultrazvukové čištění zbaví povrch odlitku přilnutých částic, které se kartáčem nepodařilo odstranit. Ultrazvuková čistička funguje na principu vyslání vysoko frekvenčního vlnění skrz vodu či jinou kapalinu, jakou může být slaná roztok nebo slabá kyselina. Toto vlnění v kapalině způsobí tvorbu nestabilních bublin, které narážejí na povrch odlitku, kde implodují a vytvoří tím vakuum. Toto vzniklé vakuum odtrhne nečistotu ulpělou na povrchu odlitku. Pro odstranění nečistot jsem zvolil ultrazvukové čištění s vodou. [7]

Následně jsem lupénkovou pilkou odstranil náletek, který jsem poté začistil přímou mikrobrusku Dremel k povrchu odlitku. Po čištění v ultrazvukové čističce a odřezání nálitku, zůstaly na odlitku pouze velmi odolné vrstvy, které se připekly k povrchu odlitku při odlévání.

Tyto vrstvy jsem se pokoušel odstranit slabými kyselinami, které ale neměly na připečené části žádný účinek. Na odlitek jsem tedy zvolil silnější roztok kyseliny dusičné, který mi napomohl ke zbavení připečených částí, a také dokázal odstranit ulpělé pozůstatky sádry, které se nepodařilo odstranit při čištění kartáčem ani při vložení do ultrazvukové čističky. Při špatně zvolené kyselině nebo roztoku kyseliny může dojít ke změně barvy odlitku z důvodu reakcí mezi roztokem a materiálem odlitku. Po tomto čištění v kyselinovém roztoku jsem odlitek pečlivě omyl vodou, abych se zbavil zbytků kyseliny a vydrhl kartáčem s brusnou pastou, díky které se mi povedlo odstranit všechny zbylé nečistoty, které ještě na povrchu odlitku zůstaly po předešlých úpravách. Díky tomuto čištění brusnou pastou jsem, také dosáhl lesklého povrchu odlitku. Tato lesklá vrstva ale bohužel po chvíli působení okolního prostředí zmatněla.

Povrch odlitku jsem se pokusil také povrchově upravit v mědicí lázni. Výsledný povrch odlitku po vytažení z lázně byl uspokojivý a také začal okamžitě oxidovat při kontaktu se vzduchem. Výsledný povrch z mědicí lázně můžete vidět na obrázku 38 a 39.



Obr. 38 Povrchová úprava mědi pohled 1



Obr. 39 Povrchová úprava mědi pohled 2

Měděný povrch odlitku jsem se také pokoušel opatřit povrchovou úpravou niklem, viz obrázek 40 a 41.



Obr. 40 Povrchová úprava niklem, pohled 1



Obr. 41 Povrchová úprava niklem, pohled 2

Po všech zkoušených variantách závěrečné povrchové úpravy jsem se rozhodl pro použití patiny, kterou docílíme díky chemické reakci se sirnými játry. Tuto vrstvu poté přeleštíme. Tuto povrchovou úpravu můžete vidět na obrázku 42 a 43.



Obr. 42 Povrchová úprava patinou, pohled 1



Obr. 43 Povrchová úprava patinou, pohled 2

Povrch odlitku jsem opatřil vrstvou ochranné nátěrové směsí skládající se ze včelího vosku, terpentýnu a kalafuny. Tento nátěr ochraňuje odlitek před oxidací a změnou barvy. Nátěr po zaschnutí vytvořil matný povrch, proto jsem zkusil jinou variantu k docílení lesklejšího povrchu.

Jako druhou možnost závěrečné povrchové pasivace jsem zvolil bezbarvý lak, určený pro kovové povrchy. Finální odlitky jsou na obrázku 45.



Obr. 44 Finální odlitky

3 ZÁVĚR

Téma své bakalářské práce jsem si zvolil s nadšením do japonského umění skládání papíru, které se nazývá origami. Tímto skládáním se už nějakou dobu zabývám a velmi jsem si toto umění oblíbil díky jeho jemnost a preciznost. Tuto preciznost a jemnost jsem se také pokusil vnést do mých odlitků z bronzu. Díky této bakalářské práci se ve mně ještě zesílila radost z tohoto umění a jsem rád, že jsem mohl toto umění posunout slévárenským směrem a vytvořit tak za papírového modelu stálejší bronzový odlitek. Bronz jsem si zvolil díky jeho dobré zabíhavosti při které dokáže vykreslit jemné detaily a odlít i velmi složité tvary, kterými je origami známé.

V Teoretické části bakalářské práce jsem shrnul historii vývoje papíru a technologický postup při jeho výrobě. Dále jsem se věnoval historii origami, významu tohoto slova, vývojem tohoto umění, kultem jeřába. Také jsem se zde zmínil o metodě přesného lití, druzích formování, a výhodami této metody.

V mých pokusech o odlití skládaného, papírového modelu origami došlo v průběhu práce k mnoha slepým cestám a mnoha hledáním cest nových. Tyto pokusy začala již u papírového modelu, kdy bylo nutné se naučit nové modely, které bylo nutné zmenšit, aby umožňovaly zaformování do kyvety. Po zdárném zmenšení papírového modelu bylo nutno přijít na způsob jak tento model správně povrchově upravit, aby nenavhlhl v sádrové formě. První variantou nátěru byl včelí vosk rozpuštěný v benzínu. Tato varianta se ukázala, jako nevhodná, a tak jsem vyzkoušel povrch opatřit šelakovým nátěrem. První pokus o šelakový nátěr nebyl také příliš zdárný. Problémem byl způsob nanášení pomocí štětce. Varianta namáčení papírového modelu do šelakového nátěru měla lepší výsledky. Hledal jsem ideální počet vrstev, abych zacelil většinu nechtěných, drobných dutin v modelu a zároveň aby se v tomto nátěru neztrácela jemnost papíru. Zkoušením vrstev jsem se dostal opět na další rozcestí, kde jsem měl na výběr, jestli zvolit variantu sušení při pokojové teplotě nebo tento proces urychlit v sušící peci. První metodu jsem zvolil, sušení v peci. Metoda nebyla vhodná z důvodu příliš vysoké teploty v peci a následným vznikajícím vadám. Druhá varianta se ukázala, jako správná, i když trvala déle. Poté jsem model opatřil voskovým kulem a připravil model na formování. Při formování jsem chtěl využít míchání a lití sádry za použití vakua. Tuto metodu jsem ale nakonec využil jen z poloviny a to pouze pro míchání sádry. Zalívání formy probíhalo již bez použití vakua, z důvodu vznikajících vad ve formě při jeho používání. Po vytvoření formy jsem řešil její žíhání v odporové peci. Vyžíhání odsraní/spálí, model a nachystá

formu na konečnou teplotu přehřátí před litím. V prvních případech, kdy byla forma přehřáta na 800 °C, docházelo k přepalování a tím k velké pórovitosti odlitku. Následně jsem tuto teplotu snížil na 500 °C a docházelo k nedostatečnému zalití dutin formy. Až při následně opětovném zvýšení na teploty 600 °C pro tenkostěnnější modely a 550 °C pro ty, u kterých papírové sklady tvoří větší masu odlitku. Tyto teploty přehřátí formy už byly vyhovující. Lití jsem prováděl ve vakuové indukční peci. V této peci jsem taval vsázku CuSn_{10} . Čas lití po natavení vsázky jsem také přizpůsoboval použitému modelu, dle jeho proporcí. U subtilnějších to byl čas 10 sekund po roztavení vsázky a u masivnějších to bylo 5 sekund po natavení. Vyndávání modelu z formy jsem prováděl šokovou metodou, ponořením květy se sádrovou formou do chladné vody. Tímto způsobem došlo k samovolnému rozmělnění formy a vytažení modelu. Následně jsem povrch modelu očistil od zbytkové sádky ulpělé na povrchu za pomoci kartáče a následovně lázni v ultrazvukové čističce. Pro zbavení hrubších nečistot na povrchu odlitku jsem zvolil slabou kyselinu, která nebyla příliš účinná, tak jsem ji nahradil roztokem kyseliny dusičné. Takto odleptaný povrch jsem opláchl pod tekoucí vodou a očistil brusnou pastou. Poté následovala povrchová úprava modelu, ve které jsem zkoušel povrch pomědit a poniklovat ale nakonec jsem zvolil patinu sirnými játry, která nejlépe podpoří tvary tohoto odlitku.

Po všech těchto změnách v technologii, ať už to bylo v papírovém modelu, při jeho formování nebo při lití jsem nakonec došel k dosažení finálního odlitku. Ten mi podpořila také dobře zvolená povrchová úprava, která ještě zvýraznila jednotlivé sklady bronzového origami.

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr.1 Fotografie reálného Jeřába[8].....	13
Obr. 2 Origami Jeřáb	13
Obr. 3Pro vazy z jeřábů [10]	13
Obr. 4 Tisíc papírových jeřábů [11]	13
Obr. 5 Detail sochy Sadako Sasako držící jeřába [12]	14
Obr. 6 Památník obětí [13]	14
Obr. 7 Pomník obětí s tisíci kusy jeřábů, pohled 1 [14]	14
Obr. 8Pamník obětí s tisíci kusy jeřábů, pohled 2 [15]	14
Obr. 9 Model složené solární plachty [17]	15
Obr. 10 Model roztažené solární plachty [17]	15
Obr. 11 Vizualizace otevření solární plachty ve vesmíru [18]	15
Obr. 12 Princip skládání dle Koryo Miura [20].....	16
Obr. 13 Počítačová simulace nafukování složeného airbagu [21].....	16
Obr. 14 Mikroskopický robot [22]	16
Obr. 15 Princip skládání mapy [23]	17
Obr. 16 Voskové modely v tzv. stromečku [26].....	18
Obr. 17 Papírový model origami - myš	19
Obr. 18 Papírový model origami - liška	20
Obr. 19 Neslepený papírový model lišky	20
Obr. 20 Papírový model origami – jednorožec.....	21
Obr. 21Papírový model origami – žába.....	21
Obr. 22 Papírový model origami – jeřáb	21
Obr. 23 Dutina před zalitím.....	23
Obr. 24 Dutina po zalití	23
Obr. 25 Dutiny před zalitím.....	23
Obr. 26 Dutiny po zalití.....	23
Obr. 27Kyveta	24
Obr. 28 Kyveta s modelem	24
Obr. 29 Vady při vztlínání šelakového nátěru	25
Obr. 30 Křivka žíhání forem	26
Obr. 32Formy v žíhací peci	26
Obr. 33 Vložená forma v peci pro lití.....	26

Obr. 34 Jeřáb, problém se zabíhavostí.....	27
Obr. 35 Jednorožec, problém se zabíhavostí	27
Obr. 36 Odlitek 1. pohled	28
Obr. 37 Odlitek 2. pohled	28
Obr. 38 Odlitek 3. pohled	28
Obr. 39 Povrchová úprava mědí pohled 1	29
Obr. 40 Povrchová úprava mědí pohled 2	29
Obr. 41 Povrchová úprava niklem, pohled 1	30
Obr. 42 Povrchová úprava niklem, pohled 2	30
Obr. 43 Povrchová úprava patinou, pohled 1	30
Obr. 44 Povrchová úprava patinou, pohled 2	30
Obr. 45 Finální odlitky	31

POUŽITÁ LITERATURA

1. History of paper. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2018-04-26]. Dostupné z: https://en.wikipedia.org/wiki/History_of_paper
2. KOČMAN, Jiří H. *Médium papír*. Vyd. 3., dopl. Brno: VUTIUM, 2011. ISBN 978-80-214-4342-6.
3. Papír. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2018-04-26]. Dostupné z: <https://cs.wikipedia.org/wiki/Pap%C3%ADr>
4. Formát papíru. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2018-04-26]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/Form%C3%A1t_pap%C3%ADru
5. ENGEL, Peter. *Origami from angelfish to Zen*. New York: Dover Publications, 1994. ISBN 0-486-28138-8.
6. HATORI, Koshiro. K's Origami: History of Origami. *K's Origami: History of Origami* [online]. web: Fractional Library, 2012 [cit. 2018-04-25]. Dostupné z: <https://origami.ousaan.com/library/historye.html>
7. Paperfolding.com. *Paperfolding.com* [online]. web: Paperfolding.com 2012, 2012 [cit. 2018-04-25]. Dostupné z: <http://www.paperfolding.com/history/>
8. Noviembre: tiempo de grullas. *Almaden Econatural* [online]. Aves: Blog de WordPress.com, 2012, 19 de noviembre de 2012 [cit. 2018-04-25]. Dostupné z: <https://almadeneconatural.wordpress.com/2012/11/19/noviembre-tiempo-de-grullas/>
9. One thousand origami cranes. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2018-04-26]. Dostupné z: https://en.wikipedia.org/wiki/One_thousand_origami_cranes
10. SENBAZURU: THOUSAND ORIGAMI CRANES. *KCP Internacional: Japanese Language School* [online]. web: Copyright 2018 KCP International A Non-profit Educational Foundation, 2015, Posted on April 6, 2015 [cit. 2018-04-26]. Dostupné z: <https://www.kcpinternational.com/2015/04/senbazuru-thousand-origami-cranes/>
11. Sadako And The Thousand Paper Cranes Origami. *Sadako And The Thousand Paper Cranes Origami: SADAKO AND THE THOUSAND CRANES PACIFIC RIM MAGAZINE* [online]. web: © 2015 We Photography, 2015 [cit. 2018-04-26]. Dostupné z: <http://speechfoodie.com/sadako-and-the-thousand-paper-cranes-origami/>

12. Rokuro Kokaina. *Rokuro Kokaina* [online]. Česká Republika: blog.cz, 2016, 7. dubna 2016 v 15:48 [cit. 2018-04-24]. Dostupné z: <http://rokuro-kokaina.blog.cz/1604/hirosima-a-nagasaki>
13. Japanese Remembrance of the Dropping of the Atom Bomb. *Guided History: History Research Guides by Boston University Students* [online]. web: blogs.bu.edu, 2012, November 24, 2012 [cit. 2018-04-25]. Dostupné z: <http://blogs.bu.edu/guidedhistory/historians-craft/bria-greene/>
14. dž💎本地震で千羽鶴が迷惑？被災地に役立たない支援物資は必要なし. III💎名人トピック情報 [online]. web, 2016, 2016-04-29 [cit. 2018-04-26]. Dostupné z: <http://topic-intro.net/?p=638>
15. Sadako And The Thousand Paper Cranes Origami. *Waging peace today: From the Nuclear Age Peace Foundation* [online]. web: Awesome Inc. theme, 2010, August 4, 2010 [cit. 2018-04-26]. Dostupné z: <http://wagingpeacetoday.blogspot.cz/2010/08/upcoming-reminder-for-sadako-peace-day.html>
16. LANG, Robert. Robert J. Lang Origami: Articles - technology. *Robert J. Lang Origami: Articles - technology* [online]. web: copyright © 2004–2018 robert j. lang, 2008, 2008 [cit. 2018-04-25]. Dostupné z: <http://www.langorigami.com/articles/technology>
17. NASA: Solar Power, Origami-Style. *NASA: Solar Power, Origami-Style* [online]. Jet Propulsion Laboratory, Pasadena, Calif.: National Aeronautics and Space Administration, 2014, Aug. 14, 2014 [cit. 2018-04-25]. Dostupné z: <https://www.nasa.gov/jpl/news/origami-style-solar-power-20140814>
18. Space Update: How Origami Solves the Space Problem When Going to Space. *21st Century Tech: A look at Our Future* [online]. web: © 2018 21st Century Tech Blog, 2013, Dec 3rd, 2013 [cit. 2018-04-25]. Dostupné z: <http://www.21stcentech.com/space-update-origami-solves-space-problem-space/>
19. Miura fold. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2018-04-25]. Dostupné z: https://en.wikipedia.org/wiki/Miura_fold
20. Miura-ori. *Mappingignorance* [online]. web: Inercia Creativa, 2016, November 30, 2016 [cit. 2018-04-25]. Dostupné z: <https://mappingignorance.org/2016/12/02/origami-art-folding/miura-ori/>

21. Applications Of Origami Origami Science Origami Like Techniques Used In Advanced Tecnologies. *Found-here.info: Printable Origami Paper Free Download* [online]. web [cit. 2018-04-25]. Dostupné z: <http://found-here.info/applications-of-origami/applications-of-origami-origami-science-origami-like-techniques-used-in-advanced-tecnologies/>
22. Kurzweil: accelerating intelligence. *Kurzweil: accelerating intelligence* [online]. web: © 2018 KurzweilAINetwork, 2016, May 16, 2016 [cit. 2018-04-25]. Dostupné z: <http://www.kurzweilai.net/ingestible-origami-robot-lets-doctors-operate-on-a-patient-remotely>
23. Unforgettable Tips For The Traveler. *Top Travel Tips: A Travellers Guide* [online]. web [cit. 2018-04-25]. Dostupné z: <http://www.cspxol.com/>
24. BARTOŠ, Filip. *Technologie zhotovení odlitek "na hotovo": "Net shape" Technologies suitable for castings*. Brno, 2010. Bakalářská práce. Vysoké Učení Technické v Brně. Vedoucí práce Prof. Ing. MILAN HORÁČEK, CSc.
25. KOTRA, Csongor. *Technologie odlévání kovů metodou přesného lití na vytavitelný model*. Brno, 2012. Bakalářská práce. Mendelova univerzita v Brně Agronomická fakulta Ústav techniky a automobilové dopravy. Vedoucí práce Doc. Ing. Josef Filípek, CSc.
26. MANUFACTURING PROCESS. *IJM Intercontinental Jewellery Manufacturing PCL* [online]. web: © Copyright Intercontinental Jewellery Manufacturing, 2017 [cit. 2018-04-26]. Dostupné z: <http://www.ijm.asia/partners/manufacturing-process/>
27. JELÍNEK, Petr. *Slévárství*. 5. vyd. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, 2007. ISBN 978-80-248-1282-3.